

CAPITULO II

RECICLAJE DE PLÁSTICOS

2.1 RECICLAJE

El reciclaje es una estrategia de gestión de los residuos sólidos. Un método para la gestión de los residuos sólidos igual de útil que el vertido o la incineración pero ambientalmente, más deseable ^[12].

Es el proceso por el cual se aprovechan los residuos para la obtención de nuevos productos.

Mediante el reciclaje se protege el ambiente porque:

- Se preservan los recursos naturales.
- Se evitan focos de contaminación.
- Las industrias ahorran energía y reducen costos de producción minimizando sus residuos.
- Los municipios abaratan sus costos de recolección, transporte y disposición final de la basura.
- Se alarga la vida útil de los rellenos sanitarios.
- Se genera empleo.

Los residuos son introducidos en el ciclo de producción y consumo, generalmente en aplicaciones secundarias.

Para reciclar cualquier material presente en los residuos, tiene que poder ser procesado en una materia prima viable y limpia. Esta materia prima debe convertirse luego en un producto. Este producto debe comercializarse y distribuirse, hay que encontrar clientes y convencerlos para comprar y seguir comprando dicho producto fabricado con materiales residuales.

Por lo tanto el reciclaje requiere cuatro elementos ^[12]:

- 1.- Recolección.
- 2.- Selección de materias primas.
- 3.- Recuperación de la materia prima para fabricar el producto.
- 4.- Mercados y clientes que compren el producto.

2.2 MARCO LEGAL DEL RECICLAJE

2.2.1 A nivel mundial

En América Latina, Estados Unidos y Europa existen diversos modelos de política legislativa que regulan la gestión de los residuos sólidos.

En países de Europa (Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Holanda, Italia, Suecia, Suiza y Reino Unido) se ha implementado la Directiva de Envases y Residuos de Envases

que se basa en el principio de “quien contamina paga”, haciendo responsables a quienes integran, de alguna manera, la cadena del envase/embalaje: fabricantes de materias primas, transformadores, embotelladores/empaquetadores y distribuidores. Por otra parte se ha permitido que este sector pueda crear sistemas privados y paralelos a los municipales de recolección diferenciada y recuperación de envases.

La legislación española promueve la elaboración de productos o utilización de envases que favorezcan la prevención en la generación de residuos y faciliten su reutilización, reciclado o valorización de sus residuos o permitan su eliminación de la forma menos perjudicial.

En Estados Unidos no se encuentra una legislación nacional que obligue a los Estados respecto a la gestión de los residuos sólidos. De hecho, la ley general deja a libertad de cada Estado y Municipalidades la forma que consideren más apropiada para gestionar los residuos. Hay, sin embargo, una ley federal que influyó notablemente para que se produjera un cambio en el manejo de los residuos sólidos urbanos, esta es el Acta de Recuperación y Conservación de los Recursos. Dicha acta regula y limita el uso y cantidad de rellenos sanitarios, regula los parámetros para la incineración y promueve el reciclado.

También se ha aprobado la legislación que exige la identificación de los envases plásticos por tipo de resina según el código de la Sociedad de Industria del Plástico SPI.

Por su parte, Japón, cuenta desde Abril de 1997 con la Ley de Reciclado de Envases. Esta ley promueve el reciclado de envases y embalajes provenientes de los residuos domésticos. Esta ley se ha aplicado paulatinamente, comenzó con botellas de PET, de vidrio y envases de papel. Desde Abril del 2000 se viene recuperando el resto de materiales de plásticos y otros materiales ^[13].

La legislación venezolana pone énfasis en regular el precepto constitucional de protección del ambiente y la salud, así como el establecimiento del municipio como unidad mínima territorial descentralizada y encargada de la prestación del servicio de aseo urbano.

En Nicaragua, aunque no existe una legislación específica, la normativa señala que la prestación del servicio de aseo es de competencia municipal, que es obligatoria la disposición final de los residuos y que el Estado deberá establecer incentivos fiscales, a fin de promover la inversión en el reciclaje de residuos domésticos y comerciales para su industrialización y reutilización.

En el caso de Uruguay, las municipalidades desarrollan actividades de promoción del segregado y reciclaje, superando el esquema normativo nacional.

México se ha constituido en un país líder, ya que ha fijado el esquema de regulación en la gestión de residuos distinta y ambientalmente más avanzada de América Latina y el Caribe con la ley para la Promoción del Principio de la Economía de la Recirculación y la Eliminación ambientalmente aceptada de desechos (27.09.94) con vigencia a partir del 07 de octubre de 1996. Esta ley establece la economía de círculos de reutilización; de esta manera, los residuos innecesarios no deberían producirse, en principio. La producción, los productos y su consumo deben ser transformados de manera que los residuos inevitables generados en su transcurso sean recirculados en la producción como materias reciclables o

utilizadas en la elaboración de nuevos productos. Solo los residuos no apropiados para una economía de reutilización deben ser excluidos de los círculos de reutilización y conducidos a una eliminación ambientalmente aceptada (tratamiento o disposición final).

Así, México opta por priorizar explícitamente, y en ese orden, la minimización, el reciclaje y la eliminación, fijando en el Estado la obligación de establecer las condiciones básicas para el cumplimiento de estos principios.

La política ambiental nacional de Colombia en relación con el sector de residuos sólidos señala que se promoverá un programa nacional de manejo de residuos sólidos y reciclaje, que comprometa la participación de los municipios, al sector productivo y la sociedad civil, para considerar toda la cadena de producción, distribución y disposición final de residuos, incluyendo rellenos sanitarios y sistemas para el manejo de residuos peligrosos. Además respalda a las empresas comunitarias de aseo y reciclaje en los programas de recolección y reciclaje de residuos.

Bolivia fomenta la recolección selectiva de residuos sólidos así como la utilización de residuos reciclados en la fabricación de productos. Si bien la actividad del reciclaje se daba en varias ciudades de manera informal, con la Ley de Residuos Sólidos se pretende formalizarla y potenciarla.

Chile y Ecuador promueven la minimización, el segregado y el reciclaje de residuos sólidos, por iniciativa municipal o privada ^[20].

2.2.2 A nivel nacional ^[20]

La Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314 del 21 de julio del 2000) establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitarios y ambientalmente adecuados, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

La ley define como residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final.

La ley busca entre otras cosas:

- ✓ Establecer principios, lineamientos y pautas para el manejo integrado de los distintos tipos de residuos sólidos, considerando todas sus etapas de manejo, desde la generación hasta su disposición final.
- ✓ Establecer sistemas apropiados de auditoría y fiscalización de los servicios de manejo de los residuos sólidos.

- ✓ Orientar la gestión de los residuos hacia la consolidación de estrategias de minimización y prevención de los impactos ambientales significativos.
- ✓ Incentivar la participación de sector privado y de la sociedad civil en el mejoramiento del manejo de los residuos sólidos.

En el campo del reciclaje de residuos, la ley establece algunos lineamientos que procuran un manejo integral y sostenible de los residuos sólidos:

- ✓ Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado.
- ✓ Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.
- ✓ Promover el manejo selectivo de los residuos sólidos.

Además, la Ley General de Residuos Sólidos establece algunos lineamientos importantes para la inversión privada y formalización de las personas y entidades que intervienen en la manejo de los residuos sólidos.

Otras normas que tratan acerca de la gestión de los residuos sólidos y el reciclaje son ^[29]:

El Código de Medio Ambiente y los Recursos Naturales (DL N° 613 – 08/09/90) en su artículo N° 106 establece que, el Estado fomenta y estimula el reciclaje de desechos domésticos para su industrialización y reutilización, mediante procedimientos sanitarios que apruebe la autoridad competente.

La Ley General de Salud (Ley N° 26842), establece que los residuos que proceden de establecimientos donde se fabriquen, formulen, envasen o manipulen sustancias y productos peligrosos deben ser sometidos al tratamiento y disposición que señalen las normas correspondientes.

De conformidad con esta norma, el Ministerio de Salud tiene como misión definir políticas y normar los aspectos sanitarios en el manejo de los residuos sólidos, así como supervisar y controlar acciones con los gobiernos locales y regionales. Es en este sentido que el Reglamento de Aseo Urbano (DS N° 033-81-SA) le encarga vigilar la calidad del servicio de limpieza pública, aprobar los proyectos de disposición final de residuos sólidos y establecer mecanismos de coordinación para reservar áreas destinadas a la disposición final de residuos sólidos.

La Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N° 23853) establece que corresponderá a las municipalidades normar y controlar las actividades relacionadas con el saneamiento ambiental, ejecutar el servicio de limpieza pública por si mismas o a través de concesiones, y ubicar las áreas para la acumulación de basura y/o el aprovechamiento industrial de residuos. Esta disposición se complementa con el Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (DS N° 007-85-VC) que señala que los municipios harán cumplir las normas e impondrán sanciones cuando se disponga inadecuadamente de los residuos sólidos.

En el Perú la gestión y manejo de los residuos es regulada, fiscalizada, promovida y sancionada por las siguientes autoridades:

El Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) es la autoridad competente para coordinar, promover y concertar el adecuado cumplimiento y aplicación de la Ley General de Residuos Sólidos con las autoridades sectoriales y municipales, siendo específicamente competente para: promover la aplicación de los planes integrales de gestión ambiental de los residuos sólidos en las distintas ciudades del país; incluir en el Informe del Estado del Ambiente en el Perú el análisis referido a la gestión y el manejo de los residuos sólidos e incorporar en el Sistema Nacional de Información Ambiental, datos referidos a la gestión y manejo de los residuos sólidos.

Para los aspectos de gestión de residuos, la Autoridad de Salud a nivel nacional es la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud; a nivel regional son las Direcciones Regionales, y en Lima y Callao las Direcciones de Salud. Le compete a esta autoridad, entre otros:

- ✓ Regular los aspectos técnico-sanitarios del manejo de los residuos sólidos, incluyendo los correspondientes a las actividades de reciclaje, recuperación y reutilización.
- ✓ Regular el manejo de residuos sólidos de establecimientos de atención de salud, así como los generados en campañas sanitarias.
- ✓ Administrar y mantener actualizado el registro de las empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos, de las empresas comercializadoras y de los auditores de residuos.

De esta manera, las competencias del CONAM referidas a promoción, información y concertación, se distancian de las autoridades de salud referidas a actividades técnico-sanitarias y de registro de operadores.

Para que una empresa sea registrada como empresa comercializadora de residuos sólidos (EC-RS), debe presentar ante la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) los siguientes documentos ^[26]:

- 1.- Solicitud dirigida al Director General de DIGESA con carácter de declaración jurada.
- 2.- Ficha de registro (otorgada por DIGESA).
- 3.- Copia de la constancia de inscripción de la empresa en los registros públicos o copia de la escritura de constitución de la empresa.
- 4.- Memoria descriptiva de las actividades de comercialización realizadas detallando el manejo específico de los residuos sólidos, según tipo y características particulares, procesamiento, reuso, cartera de clientes, entre otros, firmado por el ingeniero responsable.
- 5.- Planos de distribución de la infraestructura de residuos sólidos.
- 6.- Pago de derecho de trámite (20% de UIT).

De acuerdo con la Ley General de Residuos Sólidos, la gestión y manejo de los residuos de origen industrial, agropecuario, agroindustrial o de instalaciones especiales que se realicen en el ámbito de las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales utilizadas

para el desarrollo de dichas actividades, son reguladas, fiscalizadas y sancionadas por los ministerios u organismos regulatorios o de fiscalización correspondientes. Así por ejemplo: El Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, a través de la Dirección General de Medio Ambiente del Sub Sector Vivienda y Construcción regula la gestión de los residuos sólidos de la actividad de la construcción y el transporte de residuos peligrosos.

2.2.3 A nivel local ^[27]

La gestión de los residuos sólidos de responsabilidad municipal en el país debe ser coordinada y concertada, especialmente en las zonas urbanas, en armonía con las acciones de las autoridades sectoriales y las políticas de desarrollo regional. Las municipalidades provinciales están obligadas a realizar las acciones necesarias para la debida implementación de esta disposición.

La autoridad municipal, provincial y distrital es responsable de la gestión y manejo de los residuos de origen domiciliario, comercial y de las actividades que generen residuos similares, correspondiéndoles:

- ✓ Regular y fiscalizar el manejo y la prestación de los servicios de los residuos sólidos de su jurisdicción.
- ✓ Adoptar medidas que conduzcan a promover la constitución de empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos, así como incentiva y priorizar la prestación privada de los servicios.
- ✓ Promover y garantizar servicios de residuos sólidos administrados bajo principios, criterios y contabilidad de costos de carácter empresarial y,
- ✓ Autorizar y fiscalizar el transporte de residuos peligrosos en su jurisdicción, con excepción del que se realiza en las vías nacionales y regionales.

La gestión de los residuos sólidos, se rige bajo la Ley Orgánica de Municipalidades y la Ley General de Residuos Sólidos, las cuales otorgan a las municipalidades distritales y provinciales las facultades para regular y fiscalizar la prestación de los servicios de manejo de residuos domiciliarios, comerciales y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos de carácter no peligroso, así como la limpieza pública en sus respectivas jurisdicciones. Asimismo, por esta ley, la municipalidad es responsable de las plantas de transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

En virtud a las leyes mencionadas, en el año 1999, la Municipalidad Provincial de Piura, llevó a cabo el estudio denominado “Plan operacional: Recolección de residuos sólidos de Piura” que permitió determinar la población, producción per cápita y producción total de residuos sólidos por urbanizaciones o asentamientos urbanos pertenecientes a cada zona. Asimismo, incluye procedimientos que deben ser cumplidos por los empleados de recolección y normas para la seguridad en el trabajo.

De igual manera, en el año 2003 se elaboró el proyecto piloto “Mejoramiento de la capacidad instalada en el proceso de limpieza pública mediante la clasificación de los residuos sólidos en la ciudad de Piura” el cual consiste en la segregación de los residuos

sólidos desde la fuente de generación motivando la participación de los usuarios o demandantes del servicio de limpieza pública.

2.3 RECICLAJE DE PLASTICOS

El reciclaje de los plásticos significa la recuperación y el reprocesamiento de los mismos, cuando su vida útil terminó, para usarlos en nuevas aplicaciones.

Debido al amplio uso en el embalaje y el envasado, la mayor parte de los desperdicios plásticos son de origen doméstico. Puede considerarse que los plásticos empleados en el embalaje, envasado y en agricultura tienen una vida inferior a un año, mientras que los que son utilizados en artículos domésticos o eléctricos presentan una duración de entre uno y diez años y los del sector del mobiliario y del automóvil no aparecen como residuos antes de los diez años.

El impacto ambiental generado por los plásticos es muy importante debido a ^[17]:

- Su resistencia a la degradación, circunstancia que motiva su acumulación en los vertederos.
- Los plásticos contienen usualmente una variedad de aditivos como estabilizadores, agentes reforzantes, plastificantes, etc, los cuales pueden generar sus propios efectos ambientales. Por ejemplo, es relativamente frecuente el cadmio, cuyas sales son altamente tóxicas.
- Su baja densidad es causa de un mayor impacto visual y una elevación en el coste de su recolección y transporte. Así para obtener una tonelada de plástico es necesario recoger 20,000 botellas.
- La separación de los objetos de plástico de los residuos municipales resulta costosa.

Aún con todos los efectos ambientales nocivos que presentan los plásticos, los beneficios que conlleva su empleo son muchos, incluso en lo que se refiere al impacto ambiental. Puede considerarse la reducción del consumo de energía asociado a la disminución del peso en el transporte de alimentos o en el sector de la automoción.

Por ejemplo: un camión que transporta bebidas en envases de vidrio, acarrea un 43% de su carga en el peso de los envases, mientras que con envases de plástico, éstos suponen tan sólo un 7% de la carga. La reducción en el peso de un automóvil por la introducción de material plástico supone una reducción de 200 a 300 kg de peso y unos 750 L de gasolina en 150 000 km aproximadamente equivalentes a un ahorro del 7%.

El reciclado de los plásticos es aplicable tan solo cuando el coste energético del proceso de reciclado es inferior al de producción de nuevos materiales. Sin embargo, esto no debe llevarnos a reacciones precipitadas. Si los plásticos nuevos derivados del petróleo son más económicos que los plásticos procedentes del material reciclado, esto no es algo que deba utilizarse automáticamente en contra del reciclado. Al contrario, es más un indicador de que el precio del crudo está aún demasiado bajo a la vista de su naturaleza finita y de que ello fomenta que se desperdicie, en vez de reciclar los materiales y retornarlos al bucle de producción.

2.4 PLÁSTICOS MÁS COMÚNMENTE RECICLADOS Y SUS APLICACIONES

En la tabla 2.1 muestra la codificación de los plásticos más comúnmente reciclados a nivel mundial y en la tabla 2.2 se muestran las principales características de éstos.

Tabla 2.1 Código SPI de los plásticos reciclables.








CODIGO SPI	DESCRIPCION
	Polietileno tereftalato (PET)
	Polietileno de alta densidad (HDPE)
	Policloruro de vinilo (PVC)
	Polietileno de baja densidad (LDPE)
	Polipropileno (PP)
	Poliestireno (PS)
	Otros (ejemplo: ABS, SAN, PC)

Tabla 2.2 Resumen de las características de los plásticos más comúnmente reciclados ^[15]

	(1) PET	(2) HDPE	(3) PVC	(4) LPDE	(5) PP	(6) PS	(7) OTROS
NOMBRE COMPLETO	POLIETILENO TEREFALATO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	POLICLORURO DE VINILO	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	PC; ABS; SAN; EVA; PMMA
PUNTO DE FUSIÓN	250 – 270 °C	125 – 135 °C	150 – 200 °C	110 – 120 °C	160 – 170 °C	70 – 115 °C	
DENSIDAD	1.37 – 1.40 g/cm ³	0.95 – 0.97 g/ cm ³	1.16 – 1.45 g/cm ³	0.91 – 0.94 g/ cm ³	0.90 – 0.91 g/ cm ³	1.04 / 1.09 g/ cm ³	
USOS Y APLICACIONES	Envases para gaseosas, Aceites, Agua mineral, cosmética, películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), bandejas para microondas, geotextiles (pavimentación /caminos), películas radiográficas	Envases para detergentes, aceites de motor, champú, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para gaseosas, cervezas, baldes para pintura, helados, caños para gas, agua, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.	Botellas para aceites, agua mineral, yogurt, etc. Tuberías para agua, desagüe, suelas de calzado, sandalias, botas, capas, tapas de libros, artículos para oficina, balones, manteles, etc.	Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, etc, películas para agricultura (invernaderos), base para pañales descartables, bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos.	Película / Film (para alimentos, golosinas, indumentaria), bolsas de rafia tejidas, envases industriales (Big Bag), hilos, tapas en general, envases, cajas para bebidas, baldes para pintura, fibras para tapicería, cajas de baterías	Envases para lácteos (yogurt, postres, etc.), helados, dulces, etc., vasos, bandejas de supermercado, contrapuestas y anaqueles, máquinas de afeitar descartables, platos, cubiertos, juguetes, cassettes, planchas de PS espumado	Partes de computadoras. Teléfonos, electrodomésticos, CD's, Accesorios náuticos y deportivos, Piezas de ingeniería aeroespacial, Artículos para cosmetología; botellones de agua
VENTAJAS Y BENEFICIOS	<ul style="list-style-type: none"> • Barrera a los gases • Transparente • Irrompible • Liviano • Impermeable • No tóxico • Inerte (al contenido) 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a las bajas temperaturas. • Irrompible • Liviano • Impermeable • Inerte (al contenido) • No tóxico 	<ul style="list-style-type: none"> • Liviano • Ignífugo • Resistente a la intemperie y a la corrosión • Transparente • No tóxico • Inerte (al contenido) • Buena permeabilidad. • Resistente al impacto • No es atacado por bacterias o insectos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No tóxico • Flexible • Liviano • Transparente • Inerte (al contenido) • Impermeable • Económico 	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte (al contenido) • Resistente a la temperatura (hasta 135°C) • Barrera a los aromas • Impermeable • Irrompible • Brillo • Liviano • Transparente en películas • No tóxico • Alta resistencia química 	<ul style="list-style-type: none"> • Brillo • Ignífugo • Liviano • Irrompible • Impermeable • Inerte y no tóxico • Transparente • Fácil limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la intemperie y cambios de temperatura. • Mejor resistencia química. • Buenas propiedades como aislante • Mayor rigidez y dureza • Transparente
SE RECICLA EN	Alfombras, fibras, films, envases para alimentos y productos no alimenticios.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura.	Tuberías para electricidad y desagüe, cubrecables, suelas de calzado.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura, etc.	Tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes y vallas, pitas de rafia, baldes y conos.	Desde macetas para plantas, accesorios de oficina, asilamientos térmicos.	



Polietileno Tereftalato (PET)

El PET se recicla de la siguiente forma: Una vez recolectado, los envases de PET van a las estaciones de reciclado donde son molidos en forma de scraps. Los scraps son separados y lavados de acuerdo con las especificaciones del mercado. El PET recuperado luego es vendido a los fabricantes quienes lo convierten en productos útiles.

En Estados Unidos, alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruido en hojas para termoformado, inyectado / soplado en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo. Ver fig. 2.1.



Fig. 2.1 Envases elaborados con PET reciclado

El PET también puede ser depolimerizado a través de metanólisis o glicólisis. Dichos procesos someten al PET a una reacción química que lo reduce a sus monómeros o a sus materias primas originales. El resultante luego es purificado o vuelto a reaccionar, dando un nuevo PET que puede usarse para envases de alimentos, etc ^[17].

En algunos lugares, el PET es usado para envases de alimentos a través de su transformación en la lámina central de una estructura multilaminada o por limpieza especial.

La incineración con recuperación energética representa el 17% de la disposición de los residuos sólidos en EE.UU. El PET tiene un alto valor de incineración de 23.26 MJ/kg.

Como los envases de PET no contienen halógenos, azufre o nitrógeno, los productos de la combustión completa son compuestos que contienen hidrógeno, oxígeno y carbono.

En el Perú el PET reciclado es usado en la fabricación de calaminas plásticas; y para la elaboración de menaje doméstico ^[30].

Polietileno (PE)

Dentro de este tipo de plásticos encontramos el polietileno de alta densidad (2 HDPE) y el polietileno de baja densidad (4 LDPE).

El polietileno reciclado es utilizado para fabricar bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura, etc.

El polietileno, como todo residuo plástico, contiene energía comparable con la de los combustibles fósiles, de ahí que constituye una excelente alternativa para ser usado como combustible para producir energía eléctrica y calor (poder calorífico 46 MJ/kg ^[31]).

El polietileno, al igual que otros plásticos, es un material demasiado valioso como para desecharlo; por lo que su valorización es siempre la opción preferible para su tratamiento. Pero de no mediar otra opción, si tienen que ser enterrados en un relleno sanitario, es importante saber que los residuos de polietileno son absolutamente inocuos para el medio ambiente. Por su naturaleza son inertes y no sufren degradación lo cual nos garantiza que no generan lixiviados de productos de degradación, líquidos o gases que puedan emitirse al suelo, aire o aguas subterráneas^[13].



Polietileno de alta densidad (HDPE)

Los artículos de consumo más frecuentemente producidos a partir de HDPE reciclado son botellas de detergentes y recipientes para aceite de motor. Las botellas se hacen generalmente en tres capas, la capa intermedia contiene el material reciclado. La capa interior de resina virgen proporciona una barrera fiable y la capa exterior el color y un aspecto uniforme. El HDPE reciclado se utiliza también para envolturas protectoras, bolsas de plástico, tuberías y productos moldeados como juguetes y cubos^[32]. Ver fig. 2.2.



Fig. 2.2 Artículos elaborados con HDPE reciclado



Policloruro de vinilo (PVC)

Los productos típicamente reciclados incluyen: recipientes que no son para comida, cortinas para duchas, recubrimientos para tolvas de camiones, alfombras de plástico para laboratorios, suelas de calzado, mangueras, azulejos de suelo, tuberías de riego, tuberías de drenaje, accesorios, tiestos para plantas, juguetes, láminas y piezas moldeadas^[32]. Ver fig. 2.3.

Químicamente, el PVC puede ser reciclado mediante degradación térmica, la cual se inicia siempre por la emisión de HCl, formando una poliolefina que se descompone posteriormente. Se comprende así que la presencia de PVC en la mezcla de partida afecta la termólisis de todos los demás polímeros^[17].



Fig. 2.3 Piezas elaboradas con PVC reciclado

El mayor problema con el reciclaje de PVC se presenta con la recogida y la selección. La mayor parte de la selección se realiza a mano, basándose bien en los códigos de identificación o bien la línea “sonrisa” característica del fondo de las botellas de PVC moldeadas mediante soplado. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) y los productores de resina han proporcionado fondos para investigar acerca de la selección; la empresa National Recovery Technologies ha empleado procesos electromagnéticos para detectar cloro en los plásticos, y el Centro para la Investigación del Reciclaje de Plásticos ha utilizado técnicas de radiación, pero ningún proceso, de momento, es rentable para su explotación a escala real ^[32].



Polietileno de baja densidad (LDPE)

De este plástico se constituyen las bolsas (Fig. 2.4). Para su reciclado, las bolsas se seleccionan manualmente para separar contaminantes, se procesan mediante molienda, lavado y peletización. El mayor problema es que la tintas de impresión en las bolsas originales producen un regranulado de color oscuro; la solución ha sido la utilización de colorantes oscuros (como en las bolsas de recortes de césped y de basura) o la impresión sobre el color mezclado. Otros usos son los protectores de plástico utilizados para los camiones, donde las cuerdas y cables tocan el cargamento, y productos de plásticos mezclados (HDPE, LDPE y PP) ^[32].



Fig. 2.4 Bolsas elaboradas con LDPE reciclado



Polipropileno (PP)

La mayor parte del polipropileno reciclado se deja en scraps mezclados, utilizados solamente para productos con bajas especificaciones como tabla de plástico, muebles de jardín, cajas, pilotes, postes y vallas ^[32]. También se utiliza para elaborar pitas de rafia, baldes y conos ^[15]. Los procesadores de baterías ácidas de plomo también recuperan polipropileno para usarlo en nuevas baterías. En los Estados Unidos se recicla el 45% del PP de las baterías post-consumo para la fabricación de nuevas baterías ^[12]. Ver fig. 2.5.



Fig. 2.5 Caja elaborada con PP reciclado

También puede ser usado como combustible para producir energía eléctrica y calor, ya que tiene un poder calorífico de 45.9 MJ/kg, ligeramente menor al polietileno ^[31].



Poliestireno (PS)

Las mejoras tecnológicas en la fabricación de la resina, sumadas a la utilización de diseños innovadores de los productos permiten que los envases de alimentos hayan tenido una considerable disminución de peso. Por ejemplo, un envase de poliestireno para 125 g de yogur pesaba, en 1978, 6,5 g y en la actualidad pesa 3,5 g ^[13]

Los diferentes tipos de envases o contenedores de comida de PS pueden recuperarse separadamente o juntos. El PS reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, recipientes de basura, aislamiento, macetas, hueveras y productos moldeados por inyección ^[32]. Así también es utilizado para la producción de tacos para calzado, juguetes, pegamento y botones ^[15]. Ver fig. 2.6.



Fig. 2.6 Artículos elaborados con PS reciclado

Por medio de la termólisis se recuperan los monómeros de partida ^[17].

Otra alternativa es la utilización del poliestireno como fuente de energía y calor, ya que cuenta con un poder calorífico de 41.2 MJ/kg ^[31].



Otros (plásticos mezclados y multilaminados)

En este rubro se incluyen una enorme variedad de plásticos tales como: policarbonato (PC); poliamida (PA); ABS; SAN; EVA; poliuretano (PU); PMMA, etc., utilizados en los electrodomésticos, aparatos telefónicos, revestimientos diversos. Se puede desarrollar un tipo de plástico para cada aplicación específica.

Muchas veces, se utilizan flujos mezclados de plásticos usados (especialmente polietileno y polipropileno) para producir resinas para los fabricantes de productos grandes que no requieren especificaciones estrictas de resinas, tales como bancos de jardín, mesas, defensas para coches, postes para vallas, vigas, paletas y estacas. Como los plásticos no están seleccionados, los procesadores pueden obtener su alimentación a un bajo coste. El PET se mantiene fuera porque se funde a temperaturas más altas que las otras resinas y forma inclusiones en el producto final ^[32].

A través de la gasificación se puede obtener gas de síntesis a partir de mezclas de plásticos, incluso con otros tipos de residuos ^[17].

Otros plásticos pueden ser reciclados químicamente mediante los procesos antes mencionados; como por ejemplo ^[17]:

Los policarbonatos se reciclan por hidrólisis con hidróxido sódico acuoso permitiendo recuperar el bisfenol. Los poliuretanos mediante degradación química por etilenglicol o por agua producen polioles y diaminas.

De manera similar, la hidrólisis de poliamidas conduce a e-caprolactama a partir de nilón-6, o ácido adípico y hexametildiamina cuando la poliamida es el nilón-6,6.

2.5 RECICLADO MECÁNICO

El reciclado mecánico consiste en el tratamiento de los residuos plásticos por medio de la presión y el calor para volver a darles forma y conseguir otros objetos iguales o distintos de los iniciales. Por ello sólo se aplica a los termoplásticos, ya que estos materiales son reciclables por naturaleza.

2.5.1 Proceso del reciclado mecánico

Aunque el proceso de reciclado (fusión y solidificación) puede repetirse varias veces, cada vez que se lleva a cabo, el plástico tiende a perder entre el 5 y 10% de sus propiedades mecánicas, tales como elongación, tenacidad y resistencia al impacto. Por esta razón, deben restituirse estas propiedades con ayuda de aditivos, como modificadores de impacto, estabilizadores al calor, absorbedores de luz ultravioleta y cargas ^[13].

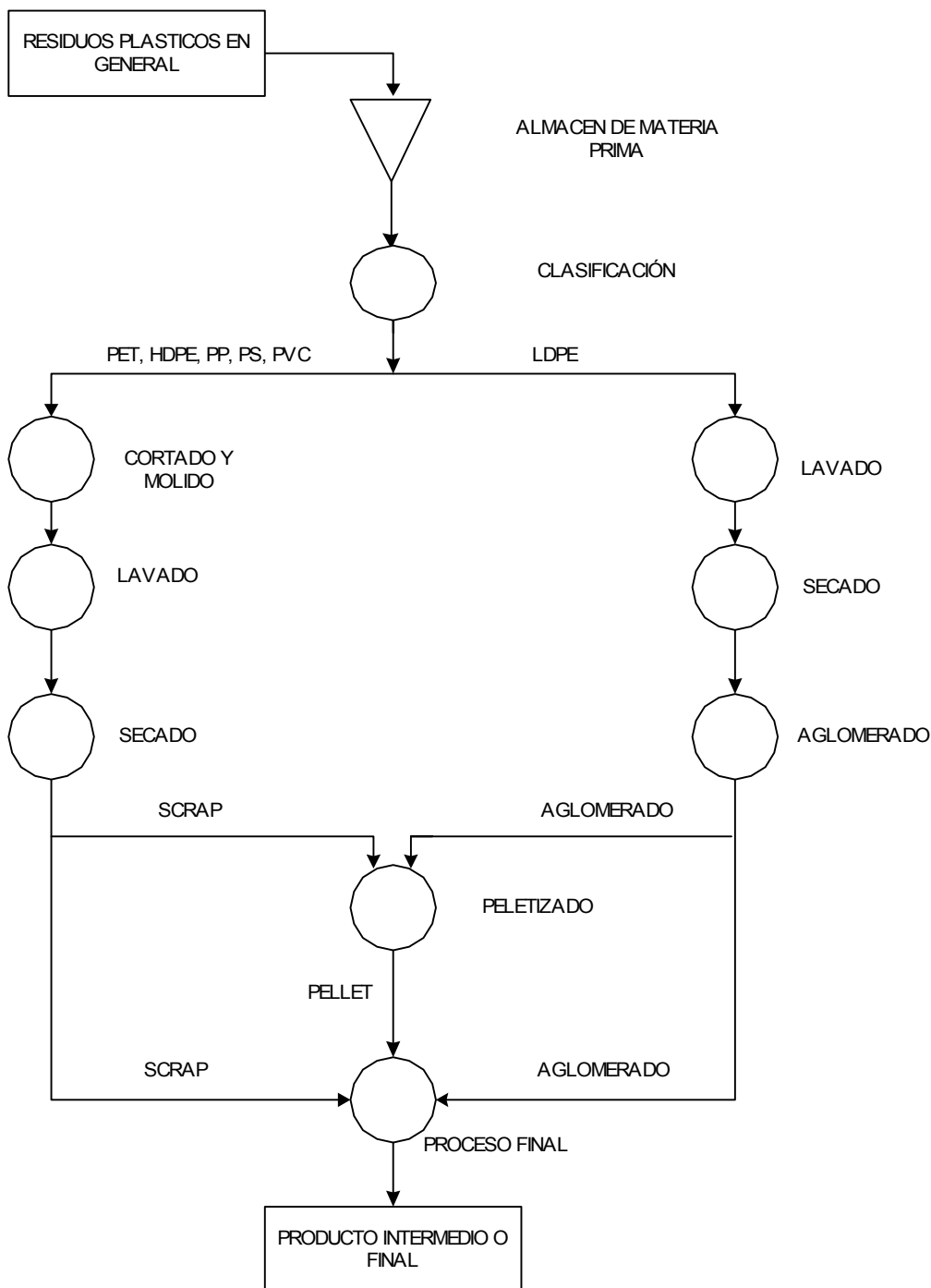
El proceso de reciclado más eficiente involucra la separación de los materiales de acuerdo al tipo de resina, en razón de que la mayoría son termodinámicamente incompatibles entre sí.

Las diferentes etapas del proceso pueden variar según la tecnología que se use. La mayoría de los equipos son similares a los empleados normalmente en la manufactura de plásticos a partir de materia prima virgen.

Las etapas que se describen a continuación son típicas de una empresa recicladora de plásticos en el Perú. ^[15] En la Fig. 2.7 se presenta un diagrama de flujo del proceso de reciclado.

1. Clasificación de los residuos plásticos
2. Cortado y molido del plástico en pequeños trozos (scraps).
3. Lavado mecánico.
4. Secado.
5. Aglomerado (generalmente se aplica a bolsas de LDPE).
6. Peletizado.
7. Procesado final (extrusión, inyección, soplado, etc).

Fig. 2.7 Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de plásticos.



2.5.1.1 Clasificación

El reciclado mecánico se inicia con la clasificación de los residuos. Debido a la incompatibilidad de los plásticos y su dificultad para separarlos, esta etapa del proceso es fundamental. Se han desarrollado técnicas avanzadas para mejorar la clasificación ya que de ello depende la calidad del producto final. Por ejemplo: pequeñas cantidades de PVC reducen de manera muy significativa el valor comercial del PET ^[32].

La presencia de plásticos coloreados puede significar otra dificultad, aún tratándose de plásticos de la misma resina.

El proceso de clasificación puede llevarse a cabo en forma manual o mecanizado ^[15].

1.1

1.2 Manual

1.3

1.4 Los recicladores, gracias a la experiencia del trabajo, han adquirido una gran habilidad para seleccionar y clasificar los residuos plásticos aunque desconocen la codificación internacional. Es indispensable contar con los implementos adecuados para protegerse de las sustancias tóxicas a las que se exponen.

1.5

1.6 Mecanizado

1.7

1.8 Existen en países industrializados, procesos para clasificar los residuos automáticamente, mediante bandas transportadoras y dispositivos con sensores térmicos, espectroscopios infrarrojos, entre otros. La técnica basada en espectroscopia IR (infrarrojos), es muy efectiva y ha alcanzado escala comercial. Un analizador identifica la naturaleza de la resina por medio de la luz IR reflejada en el material y transmite la orden para la retirada mecánica o neumática del objeto al contenedor correspondiente.

La clasificación se realiza de acuerdo a ciertas consideraciones necesarias para un adecuado procesamiento, las mismas que permitirán obtener productos de mejor aceptación en el mercado.

Por el tipo de polímero^[15]

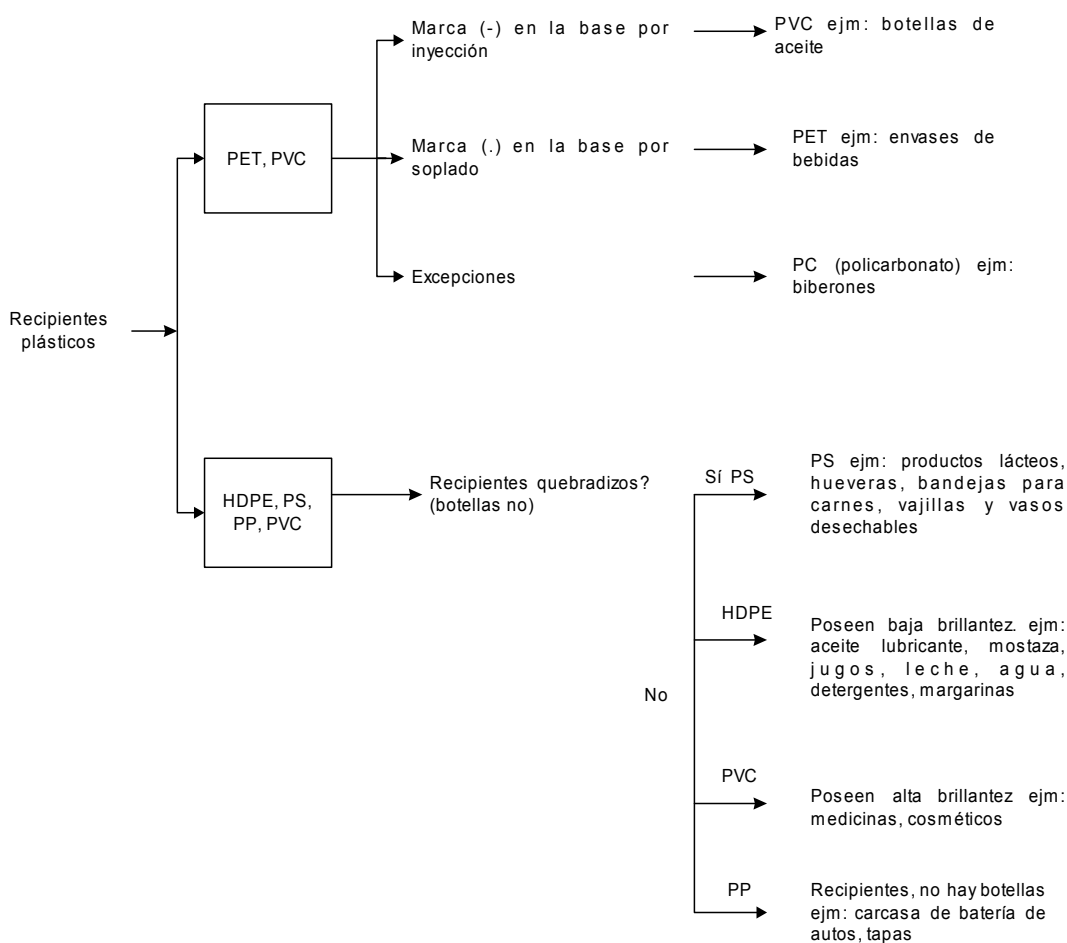
De acuerdo a la clasificación de la Sociedad de Industria del Plástico (SPI). (ver tabla 2.1).

Por el proceso de manufactura^[15]

Consiste en separar los residuos plásticos por el proceso mediante el cual han sido elaborados, soplado o inyección (generalmente serán los de polietileno y polipropileno). Cada proceso le da ciertas características al material y lo que se busca es que el plástico sea reutilizado en el mismo proceso del cual proviene. La identificación es visual.

La Fig. 2.8 muestra la forma en que se puede llevar a cabo la clasificación mediante este proceso propuesto en Costa Rica ^[14].

Fig. 2.8 Proceso de clasificación de plásticos



Por colores

Generalmente se selecciona por tonalidades de colores, por ejemplo, para el caso del rojo, va desde el rosado hasta el rojo oscuro. De no separar los colores los productos reciclados pueden tener colores opacos y oscuros por lo que serán menos cotizados en el mercado.

Además de la clasificación, se realiza una limpieza la cual puede ser manual, previa del material para desprender etiquetas, tapas u otros objetos adheridos al desecho plástico.

Otras formas de reconocimiento comunes utilizadas por los recicladores para la clasificación de los plásticos son ^[15]:

El rasgado

Se realiza normalmente con la uña de la mano, permite reconocer a los plásticos por la dificultad y la profundidad de la marca dejada. Por ejemplo el PS al ser rasgado no se marca como el PVC o el PP.

El doblado

Mediante este proceso se analiza y distingue la flexibilidad y el efecto que queda en el material luego de someterlo a una fuerza deformadora. Por ejemplo: el polietileno (de alta o baja densidad) es reconocido por su flexibilidad; cuando es sometido a una presión se deforma volviendo a su estado inicial sin resquebrajaduras. El polipropileno sufre resquebrajaduras cuando es sometido a una fuerza deformadora, volviendo a su estado inicial cuando cesa la fuerza. El poliestireno es reconocido por ser quebradizo.

La transparencia

Permite diferenciar el PVC, el polipropileno, el acetato de celulosa (CA), el polietileno tereftalato (PET), que son transparentes de otros que no lo son.

El calentamiento

Para diferenciar los termoplásticos de los termoestables se calienta un alambre; cuando éste está al rojo vivo, se pone en contacto con el plástico. Si el alambre atraviesa el plástico, entonces se trata de un termoplástico; de lo contrario es un termoestable.

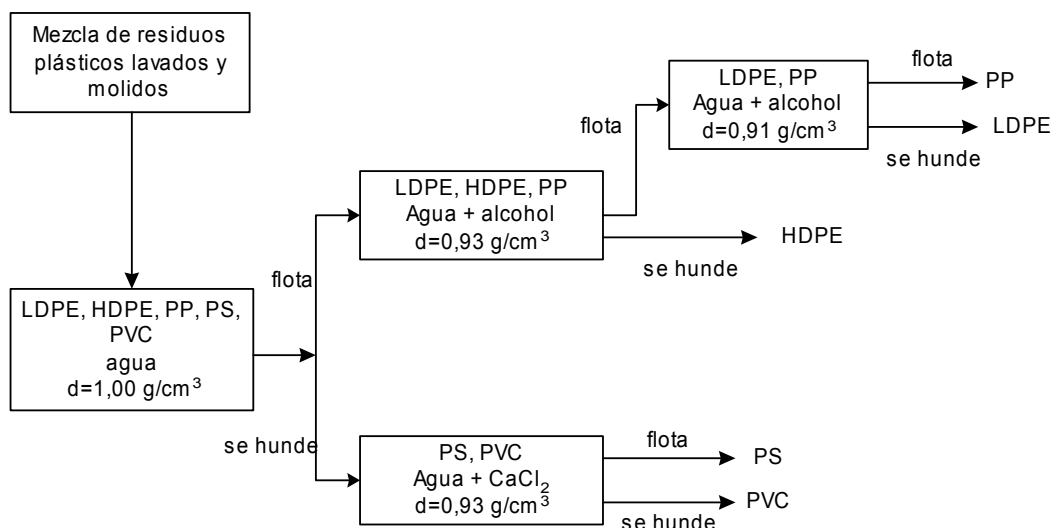
La flotación

Esta técnica permite diferenciar los tipos de plásticos según su densidad. Se emplean varios líquidos de flotación con densidades, ajustadas mediante sales o alcoholes, intermedias entre diferentes clases de plásticos. Los plásticos que tengan la densidad igual o menor que la solución flotarán, mientras que los restantes se hundirán. La técnica puede valerse también de la adición de agentes humectantes y burbujeo de un gas o de la adición de disolventes que se adhieren selectivamente al PVC. Si la mezcla no se separa fácilmente, quizás se necesiten una serie de hidrociclones (separadores ciclón o centrífugos) para los flujos pesados y ligeros con el proceso ajustado según la mezcla de botellas ^[17]. Ver fig. 2.9.

Un ejemplo típico es la botella de gaseosa (PET) y su tapa (PP); en la industria de fabricación de fibras sintéticas sólo se utiliza el PET, durante el proceso de molido, las botellas van al molino con sus tapas y es en el proceso de flotación donde se separan ambos tipos de plásticos.

Otra línea de mejora de las diferencias de densidad consiste en la introducción de la centrifugación en lugar de la flotación. Otra técnica emplea disolventes y variación de temperaturas; al parecer por disolución fraccionada con xileno se pueden separar mezclas de poliestireno (temperatura ambiente), polietileno de baja densidad (75°C), polietileno de alta densidad (105°C), PVC (138°C) y PET (insoluble) ^[17].

Fig. 2.9 Esquema Teórico del Método Hunde – Flota para separar mezclas de residuos plásticos^[16]



Por ignición

Permite distinguir el tipo de plástico según el color de la llama y por el olor que desprende al arder.

Todos los procesos anteriores son característicos de las micro y pequeñas empresas de países en desarrollo.

Se usan estas técnicas porque muchas veces se desconoce la codificación de la Sociedad de Industria del Plástico y además en algunos países en desarrollo, como el nuestro, no se exige a los fabricantes que impriman este código.

2.5.1.2 Cortado y molido del plástico en pequeños trozos (scraps)^[15].

Cortado

Los residuos plásticos clasificados son acondicionados para su molienda; este acondicionamiento se realiza reduciéndolos de tamaño de tal manera que faciliten su manipulación en el momento de ser introducidos a la tolva del molino.

El cortado puede ser realizado de dos maneras:

Manualmente usando machetes. La productividad es baja y el riesgo de accidentes alto. También pueden usarse pequeñas cizallas.

Mecánicamente, usando una máquina provista de una banda transportadora y una guillotina que es accionada intermitentemente por un sistema biela manivela, con motor eléctrico generalmente. Otra forma es mediante el uso de sierras de cinta.

Molienda

Los plásticos cortados son reducidos de tamaño en un molino, obteniéndose hojuelas de plástico conocidas como *scraps*, de un tamaño aproximado a un centímetro.

Se introduce el plástico seleccionado y acondicionado en la tolva de alimentación; luego es molido por el corte de tres cuchillas que giran en un eje axial impulsadas por un motor eléctrico y una banda de transmisión y la acción de cuchillas fijas que son las contrapartes de las rotatorias. Se pueden encontrar variaciones.

Cuando el tamaño de las partículas de plástico molidas es de un centímetro o menos caen por gravedad por unos agujeros que se encuentran en la parte inferior, hacia el depósito de *scrap* del molino de plástico.

2.5.1.3 Lavado

En esta etapa se separan algunos residuos (orgánicos, tierra, restos de etiquetas, etc) del plástico molido. El *scrap* es lavado utilizando agua, detergente industrial y soda cáustica en una proporción 50/50. El agua y detergente industrial se usan para eliminar grasas y otros elementos físicos (etiquetas, pegamento, etc). La soda cáustica se usa para desinfectar, eliminando restos orgánicos si existiesen.

Si el material está limpio no es necesario el uso de detergentes y soda cáustica.

Luego es enjuagado con agua fría para retirar los restos de detergente y soda cáustica.

Actualmente se ha desarrollado la tecnología de lavado a fricción mediante la cual el material se lava sólo con agua fría sin necesidad de usar soda cáustica y detergente. La fricción mutua de los *scraps* se realiza debido a la rotación del rotor de la lavadora con sus cuchillas. Esta tecnología trae disminución de costos ya que no es necesario el uso de aditivos.

El lavado es importante porque determina la calidad del *scrap* que resulte lo cual influye en el precio. Puede ser manual o mecánico.

En el Perú el proceso de lavado se realiza después del molido (a excepción de las bolsas de plástico). En otros países se realiza antes y durante la clasificación de los residuos plásticos.

Asimismo, en nuestro país se usa por lo general un recipiente cilíndrico con un pequeño motor para accionar unas paletas que agitan el agua a baja velocidad y favorecen el proceso de lavado; esto hace más productivo el proceso.

El agua empleada en esta etapa es recomendable que sea tratada y reutilizada.

2.5.1.4 Secado

Una vez limpio, el *scrap* es secado con el objeto de retirarle los restos de humedad. Esta labor se realiza generalmente utilizando un secador rotatorio de aire caliente generado por un quemador de gas propano o kerosene. La humedad final recomendada es 0,5%.

Los secadores que por lo común se usan en las empresas de plástico tienen una capacidad de procesamiento entre 100 y 150 kilogramos por hora.

Otras técnicas utilizan primero un escurridor centrífugo para separar el agua y se procede a secar los *scraps* con aire caliente para reducir el contenido de humedad hasta aproximadamente 0,5%.

Otra alternativa empleada principalmente en los meses de verano es secar el material exponiéndolo al sol.

2.5.1.5 Aglomerado

Mediante este proceso se incrementa la densidad del material a reciclar (se aplica a las bolsas de LDPE).

La materia prima previamente cortada y secada, es introducida en la máquina. Ésta, de forma cilíndrica, tiene cuchillas fijas en los lados y giratorias en el centro. El calor generado por la fricción de estas cuchillas eleva la temperatura del proceso y determina el incremento de la densidad del material por el encogimiento y parcial plastificación. Así, la temperatura a la que llega el proceso es a la de semiplastificación (70 – 90 °C).

El material es enfriado generalmente con agua solidificándose y tomando formas irregulares. El producto final es conocido como aglomerado.

Este aglomerado pasa a la etapa de peletizado.

2.5.1.6 Peletizado

Es el proceso por el que se obtienen los *pellets* mediante una operación de extrusión.

Se fluidiza el *scrap* o aglomerado utilizando un tornillo de extrusión, que en términos simplificados es un tornillo sinfín dentro de un cilindro largo. Los *scraps* o el aglomerado se colocan en la extrusora en el extremo del tornillo con el diámetro más grande y se comprimen mientras se lleva hacia la boquilla de extrusión. Previamente y de ser necesario se añaden los aditivos. El calor combinado de la fricción producida por el flujo y de las bandas de calefacción suplementarias provoca la fundición de la resina, extrayéndose de la mezcla los contaminantes volátiles. Inmediatamente antes de la boquilla, la mezcla fundida pasa a través de una malla fina que separa las impurezas sólidas restantes; este paso se conoce como filtración de fundido.

La temperatura debe ser constante en cada tramo del extrusor, para lo cual se calienta con una resistencia eléctrica y se mantiene la temperatura necesaria con un sistema de refrigeración (serpentín de agua o aire).

El plástico homogeneizado pasa a través de una malla metálica para retener cualquier impureza o elemento extraño. A continuación, el plástico líquido pasa por un molde con orificios que ocasiona la salida de “fideos” de plástico. Este material se solidifica por la temperatura ambiente. Para enfriarlo más se le hace pasar por una tina con agua y luego, mediante unos rodillos, estos “fideos” son transportados hacia una cortadora donde se obtienen los *pellets* con una longitud de entre 8 a 10 mm.

Otra forma de obtener los *pellets* es cortar los “fideos” en segmentos cortos, con una cuchilla giratoria mientras pasa a través de los orificios del molde, y dejarlos caer en una tina de agua, donde se enfrían.

Los *pellets* se secan en un secador centrífugo hasta alcanzar un contenido de humedad de 0,5%; luego son pesados, envasados y almacenados para su transporte hasta el cliente.

2.5.1.7 Procesos de moldeo

El material plástico reciclado (*pellets*, *scraps*, o aglomerado) puede ser procesado directamente y obtener productos con menores especificaciones que las fabricadas con plástico virgen. Con la formulación adecuada, puede procesarse junto con resina virgen; esto permite una disminución en los costos de producción. También puede coextruirse entre material virgen, por ejemplo en la fabricación de botellas donde la capa intermedia es de material reciclado y, tanto la capa interna como la externa son de material virgen.

Durante el proceso de extrusión pueden usarse aditivos para cambiar el índice de fusión o el color. Los procesadores y fabricantes intentan minimizar la “historia calorífica” (una medida del número de veces que se ha fundido la resina o se ha llegado a la temperatura máxima) porque cada calentamiento degrada la resina.

Existen varias técnicas para conformar los polímeros. En su mayoría son utilizadas para aquéllos de naturaleza termoplástica. El termoplástico es calentado a una temperatura cercana o superior a la temperatura de fusión, de tal manera que se haga plástico o líquido. Entonces es vaciado o inyectado en un molde para producir la forma deseada ^[2].

Entre las técnicas más comunes tenemos las que a continuación se describen ^[2].

Moldeo por inyección

La resina plástica en forma de *pellets*, *scraps*, aglomerado es empujado por un tornillo sinfín a través de una cámara de calentamiento, la resina se ablanda fluidificándose y homogeneizándose.

A través de la boquilla situada al final de la cámara, el plástico fluido se inyecta a presión en un molde enfriado; al pasar por el molde, el material se solidifica rápidamente y es

expulsado de manera automática o retirada a mano. Luego el molde queda listo para otra descarga de plástico líquido.

Una amplia variedad de productos, como vasos, peines, engranes, botes de basura y otros envases se pueden producir de esta manera.

Moldeo por soplado

Este método fue ideado para resolver el problema de la fabricación de objetos con forma de botella.

Se usan *pellets*, *scraps*, aglomerado que se adicionan a la tolva de alimentación de la máquina. Utiliza un extrusor y empuja el plástico líquido en forma de tubo (conocida como preforma).

Luego, la preforma, fabricada mediante un proceso de inyección, va entre un par de moldes emparejados y calentados; éstos se cierran y mediante una corriente de aire comprimido, se infla la preforma para que adopte la forma del molde.

La forma así obtenida se enfría en el molde y es expulsada.

Este proceso es utilizado para producir botellas de plástico, recipientes, tanques para combustible automotriz y otras formas huecas.

Extrusión

Un mecanismo de tornillo, similar a los mencionados anteriormente, empuja el termoplástico caliente a través de una boquilla abierta que produce formas continuas como películas, barras, tubos, perfiles y filamentos. También se usa para recubrir alambres con termoplásticos. Se suele emplear el objeto extruido introduciéndolo en un baño de temple, o se coloca en una faja transportadora, lo que permite su enfriamiento por aire.

La diferencia entre el moldeo por inyección y la extrusión es que en este último proceso, se hace pasar el plástico fluido por un molde que tiene la forma del objeto deseado.

Termoformado

Las hojas de polímero termoplástico que son calentadas hasta llegar a la región plástica se pueden conformar sobre un molde para producir diversos productos, tales como empaques para huevos y paneles decorativos. El conformado se puede efectuar utilizando moldes a vacío y aire a presión.

Calandrado

En una calandra se vierte plástico fundido en un juego de rodillos con una pequeña separación. Los rodillos, que pudieran estar grabados con algún dibujo, presionan el

material y forman una hoja delgada de polímero, a menudo cloruro de polivinilo. Productos típicos de este método incluyen losetas de vinilo para piso y cortinas para baños.

Hilado

Se pueden producir filamentos, fibras e hilos mediante este método. El termoplástico fundido se empuja a través de un molde que contiene muchas perforaciones pequeñas. El molde conocido como hilador puede girar y producir un hilado.

Espumas

Se pueden producir productos de poliestireno, poliuretano, polimetilmetacrilato y otros polímeros que finalmente tengan espacios huecos.

El polímero se produce en pequeñas bolitas que frecuentemente contienen un agente espumante, que al ser calentado se descompondrá generando nitrógeno, bióxido de carbono, pentano o algún otro gas. Durante este proceso de preexpansión, las bolitas aumentan de diámetro tanto como 50 veces y se hacen huecas. A continuación las bolitas preexpandidas se inyectan dentro de un dado para fundirlas y unir las a fin de formar productos excepcionalmente ligeros, con densidades de sólo 0.02 g/cm^3 . Los vasos, empaques y aislamientos de poliestireno expandido (incluyendo tecnopor), son algunas de las aplicaciones para las espumas.

2.5.2. Ejemplo de una planta típica de reciclado de botellas PET y HDPE ^[32]

Una planta donde las botellas PET y de HDPE se transforman en *scraps* limpios tiene los siguientes procesos.

Las botellas provienen de los segregadores y contenidas en grandes bolsas llamadas balas.

2.5.2.1. Rotura de balas y selección

Las balas preseleccionadas se rompen y se depositan en una cinta transportadora para su selección final; se seleccionan las botellas PET manualmente según su color y se separan los plásticos no deseados.

2.5.2.2. Molienda y lavado

Las botellas se transforman en *scraps* con un molino diseñado para cortar *scraps* limpios sin causar excesivo calor, puesto que lo fundiría. Los *scraps* se lavan con agua caliente, detergentes y por agitación, para separar etiquetas, adhesivos y suciedad; se utiliza un separador centrífugo para separar los *scraps* del agua sucia, papel y restos.

2.5.2.3. Separación

Después de lavar los *scraps*, éstos se dirigen al depósito de flotación, donde el PET se hunde en el fondo y flotan los plásticos más ligeros, como HDPE. Si la alimentación es casi homogénea, puede ser suficiente un sólo depósito; si la mezcla no se separa

fácilmente, quizás se necesite una serie de hidrociclones (separadores ciclón o centrífugos) para los flujos pesados y ligeros con el proceso ajustado según la mezcla de botellas.

2.5.2.4. Secado

Después de la separación, el flujo se ha convertido en un flujo de PET y/o un flujo de HDPE. Se utiliza un secador centrífugo para separar el agua y se procede a secar los *scraps* con aire caliente para reducir el contenido de humedad hasta aproximadamente 0,5%.

2.5.2.5. Clasificación por aire

Las fábricas que granulan botellas de yogurt (u otros productos HDPE con tapas o etiquetas de polipropileno) utilizan un paso de clasificación por aire entre el secado centrífugo y el secado por aire forzado para separar las piezas ligeras de polipropileno.

2.5.2.6. Separación electrostática

Las botellas a veces contienen tapas de aluminio cuando se empaacan, y el aluminio granulado aparece en los *scraps* de PET. Después del secado, se utiliza la separación electrostática para separar el aluminio.

El PET limpio se vende en forma de *scraps*, pero la mayoría del HDPE se peletiza. La resina peletizada está libre de polvo y fluye fácilmente, y el proceso de fundición y cribación mejora la homogeneidad y la pureza.

2.5.2.7. Peletización

Se realiza del mismo modo descrito en 2.5.1.6

2.6 RECICLAJE QUÍMICO DE LOS PLÁSTICOS ^[17].

Como una alternativa al reciclaje mecánico se puede realizar el reciclaje químico, el cual, a diferencia del primero, implica cambios en la estructura química del material. El reciclaje químico, al basarse en una reacción química específica, no necesita los complicados pasos de purificación que son indispensables para el reciclaje mecánico. Además, permite utilizar el desecho plástico como fuente de materia prima, no sólo para producir nuevamente el material original (como material virgen), sino producir otros materiales con diferentes características.

También conocido como reciclaje terciario, consiste en la descomposición química del polímero por diversos métodos; adecuados en función de la naturaleza del polímero, para llegar a los monómeros de partida o mezclas de hidrocarburos que son empleados como fuentes de productos químicos o como combustibles. En este reciclado pueden incluirse también las gomas y elastómeros.

2.6.1 Métodos de reciclaje químico

Los principales métodos se describen a continuación:

2.6.1.1. Despolimerización química

Es empleada industrialmente para el reciclado de poliésteres, poliacetales, poliamidas, y poliuretanos, con recuperación de monómeros crudos que, tras purificación, pueden emplearse de nuevo para la preparación de resinas vírgenes. Los polímeros son fragmentados en sus monómeros por los reactivos nucleófilos que habitualmente participan en las conversiones químicas dentro de la familia de los ácidos carboxílicos: agua, metanol, etilenglicol, amoníaco, aminas. El progreso de la reacción se consigue por activación térmica o por catálisis ácida o básica.

Para el PET los mejores procesos se basan en la degradación por etilenglicol o por metanol, en los que se obtienen los correspondientes ésteres dobles del ácido tereftálico que pueden ser empleados directamente, una vez purificados, en la preparación del polímero.

La alcoholólisis ha sido usada también por Sherwin Williams para convertir residuos de PET en poliésteres solubles. Esta alcoholólisis es asistida por un catalizador tal como el Hidróxido de Bario $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

La hidrólisis de policarbonatos con hidróxido sódico acuoso permite recuperar el bisfenol, el diol más común en estos polímeros, junto a carbonato sódico. El método ha sido mejorado recientemente con el empleo del hidróxido en cantidades catalíticas, junto a metanol, con lo que se obtiene el bisfenol sólido y carbonato de metilo en disolución.

La degradación química de los poliuretanos por etilenglicol o por agua produce polioles y diaminas. Los primeros pueden ser empleados en polimerización por reacción con isocianatos, mientras que las diaminas pueden ser convertidas en isocianatos por reacción con fosgeno.

2.6.1.2. Gasificación

Consiste en un tratamiento con oxígeno, aire, vapor de agua o mezclas de estos agentes, que conduce de manera efectiva a la formación de gas de síntesis. Puede ser empleado en la preparación de metanol, amoníaco y de otros compuestos. La principal ventaja de la gasificación consiste en la posibilidad de tratar mezclas complejas de material plástico sin previa separación. Es frecuente que los plásticos se traten de esta manera junto a otros residuos sólidos. Sin embargo, resulta preciso purificar y reajustar el gas obtenido para que realmente pueda ser utilizado como un gas de síntesis de calidad. Como limitación se suele citar la necesidad de un volumen muy elevado de producción y es precisa además la proximidad a las plantas que vayan a utilizar este gas de síntesis.

2.6.1.3. La fragmentación térmica o termólisis

Se produce por calefacción del polímero, plástico o elastómero, en una atmósfera inerte. La termólisis es de tipo radicalario y en unos polímeros concretos, como el PS y el PMMA es factible recuperar los monómeros. Con otros polímeros la fragmentación se hace caótica y se obtienen mezclas complejas de hidrocarburos. En función de la ramificación de la resina varían las condiciones de temperatura necesarias y, en función de éstas, se producen volúmenes variables de fracciones de gases, aceites, ceras, y de residuo sólido. La degradación térmica del PVC se inicia siempre por la emisión de HCl formando una poliolefina que se descompone posteriormente. Se comprende así que la presencia de PVC en la mezcla de partida afecte la termólisis de todos los demás polímeros. Trabajando por encima de los 600°C y con tiempos cortos de residencia se consiguen buenos rendimientos en olefinas: etileno y propileno. A 500 °C hidrocarburos lineales saturados junto a alfa-olefinas, con un contenido bajo de aromáticos.

La termólisis de caucho vulcanizado, fundamentalmente llantas usadas, permite obtener un alquitrán con un elevado contenido de azufre, junto a gases que contienen hidrógeno, monóxido y dióxido de carbono, metano y etano, que puede ser útil como combustible, y de un aceite fundamentalmente aromático.

2.6.1.4. Craqueo catalítico

Presenta bastantes ventajas sobre la termólisis de los plásticos y elastómeros. Por un lado las temperaturas pueden ser inferiores; por otro, la elección de catalizador permite dirigir mejor la conversión. El empleo de catalizadores fuertemente ácidos en un lecho fluido ha permitido la obtención de una fracción de olefinas C3 y C4 en un 70% de rendimiento. Además, en los líquidos la fracción de gasolina está integrada principalmente por hidrocarburos saturados ramificados, frente a los lineales saturados y alfa olefinas de la termólisis.

Sin embargo, el craqueo está limitado a los polímeros poliolefinicos, ya que la presencia de cloro o de nitrógeno en las moléculas provoca envenenamiento de los catalizadores. También resultan muy perjudiciales los rellenos.

Las limitaciones actuales para el reciclado químico son más de tipo económico que técnico. Existen tres factores que determinan la rentabilidad de estas alternativas: el grado de separación requerido en los residuos de partida, el valor de los productos obtenidos y los requisitos de inversión de las instalaciones necesarias. Los pasos previos de separación implican un incremento en el costo. Las exigencias de separación previa, según los procesos anteriores, presentan el siguiente orden: gasificación, tratamientos térmicos e hidrogenación, craqueo catalítico y finalmente despolimerización química.

Muchos proyectos de reciclado han fracasado por el bajo precio de los productos obtenidos. En términos generales el valor comercial de los productos en los diferentes tratamientos puede presentar el orden siguiente: aceites térmicos y gas de síntesis, aceites de hidrogenación y aceites catalíticos, monómeros. Como puede verse el valor comercial y los tratamientos previos siguen órdenes inversos. Además hay que tener en cuenta la

existencia de instalaciones previas adecuadas, el volumen mínimo, inversiones, localización, etc. Se ha apuntado que las plantas de hidrogenación requieren inversiones muy elevadas, que la gasificación requiere volúmenes continuos muy grandes (400 000 a 500 000 toneladas anuales), y que tanto la pirolisis como la hidrogenación conducen a productos que posteriormente deben pasar a unidades de refinería.

Parece que las industrias petroquímicas serían las mejoras dotadas para incorporar algunas de estas formas de reciclado. Parece que podría incluso introducirse el material plástico en las corrientes de los procesos de tratamiento de los crudos petrolíferos o de sus fracciones. Sin embargo, sería necesario un tratamiento previo para eliminar eficazmente elementos como el nitrógeno, cloro o los metales pesados presentes en los plásticos. Además, el transporte del material plástico, ya seleccionado debería presentar un bajo coste.

2.6.2 Ejemplo de reciclaje químico en el Perú: Concreto polimérico a partir de PET [18]

Aunque en el Perú no se cuenta con una industria petroquímica se han desarrollado algunos proyectos como por ejemplo el desarrollado en la Pontificia Universidad Católica del Perú donde se recicla químicamente el PET para fabricar el llamado “Cemento Polimérico”.

Se descompone químicamente el PET, es decir, se rompe la cadena para obtener sus eslabones separados. Estos eslabones son utilizados para formar una nueva cadena, diferente de la anterior (PET). Esta nueva cadena tiene la particularidad de poseer algunos eslabones que pueden unirse a otros tres (en vez de sólo a dos). Esta nueva cadena se llama **poliéster insaturado**. Esta nueva característica de las cadenas hace que todas las cadenas puedan unirse formando una especie de red tridimensional (este proceso de unión de cadenas se conoce como **entrecruzamiento** o curado). El resultado es una estructura o matriz muy grande, interconectada y muy fuerte. Si por ejemplo, esta matriz es rellena con arena o grava, el producto final es una especie de concreto cuyo "pegamento" o aglutinante es un polímero (en vez de cemento en el caso de concretos tradicionales). A este concreto lo llamamos **concreto polimérico**.

Las etapas del proceso ensayadas a nivel de laboratorio fueron las siguientes:

2.6.2.1. Despolimerización del PET

El PET, previamente cortado en trozos de aprox. 1 cm² y calentado a 100 °C durante 3 horas, se hace reaccionar con etilenglicol (8 mL de etilenglicol por cada gramo de PET) en un balón acoplado a un reflujo bajo atmósfera inerte, en presencia de un catalizador. El producto de la reacción se deja enfriar y se filtra y lava con agua destilada. El producto, bis (hidroxietileno) tereftalato (BHET), se recrystaliza en agua caliente.

2.6.2.2. Polimerización del poliéster insaturado

En un balón acoplado a un destilador se hace reaccionar el BHET con anhídrido maleico, ácido sebácico y un glicol (etilenglicol, propilenglicol o dietilenglicol), en atmósfera inerte. La temperatura de reacción fue inicialmente de 90°C, y se incrementó progresivamente a

120°, 190° y 220°C sucesivamente, manteniéndose cada una de estas temperaturas por 30 minutos, excepto la última que se mantuvo por 1h.

2.6.2.3. Elaboración del concreto polimérico

El poliéster insaturado se mezcla con estireno (en diferentes proporciones) y luego con arena (o grava) en una relación de 8 (arena) a 1 (mezcla de poliéster y estireno). A esta mezcla se le añade octoato de cobalto y peróxido de metil etil cetona para producir el entrecruzamiento. El concreto se deja reaccionar a temperatura ambiente (o mayores temperaturas si se desea acelerar el proceso).

2.7 PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS RECICLADOS ^[19]

Un estudio realizado en Argentina demuestra los cambios en las propiedades de los materiales plásticos después de ser reciclados. El uso de los productos plásticos fabricados a partir del reciclado mecánico de los residuos plásticos presenta algunas limitaciones técnicas que habrá que tener en cuenta. Su omisión puede conducir a resultados inaceptables. Por tal motivo es necesario realizar una comparación de las propiedades de la resina virgen y la obtenida después de someter a cambios físicos para llegar a un nuevo producto.

Las propiedades estudiadas fueron la densidad y el índice de fluencia (MFI) y de acuerdo a su comportamiento se ha analizado la influencia sobre otras propiedades importantes del material.

Los resultados que se muestran en la tabla 2.3 y 2.4 fueron obtenidos siguiendo las normas ASTM: D 792-66 para la determinación de la densidad de polímeros y para determinar el índice de fluencia la norma ASTM Designación: D1238-82.

Tabla 2.3 Datos de densidad de algunos tipos de plásticos

Polímero	Densidad promedio del material virgen (g/cm ³)	Densidad promedio del material procesado (g/cm ³)	Densidad promedio del material reprocesado (g/cm ³)
LDPE	0.923	0.913	0.906
LLDPE	0.926	0.917	0.913
HDPE	0.954	0.951	0.937
PP	0.904	0.884	0.875

Para determinar el índice de fluencia (MFI) se sometió al PP y PE a temperaturas de 200 °C y 250 °C respectivamente y una presión de 2.5 kg/cm². Ver tabla 2.4.

Tabla 2.4 Datos de índice de fluencia de algunos tipos de plásticos

Polímero	MFI del material virgen (g/10 min)	MFI del material procesado (g/10 min)	MFI del material reprocesado (g/10 min)
LDPE	0.96	1.00	1.03
LLDPE	12.00	12.36	12.70
HDPE	0.13	0.231	0.239
PP	1.80	2.04	2.27

De los resultados obtenidos se puede observar una disminución promedio de la densidad de 1.67% para los polietilenos y 3.37% para los polipropilenos; lo que hace notar que la degradación sufrida por el PP es mayor que para el PE. La disminución promedio de la densidad para los PE reciclados es de 1.3% después de ser sometidos a una transformación. Se puede decir que cada vez que se somete al polímero a temperatura y presión, la densidad sufre una disminución entre 1.3% y 1.5%.

En las medidas del MFI existe un incremento promedio de 3% en los polietilenos y de 11% para los polipropilenos, lo que implica una disminución de la viscosidad del material reprocesado con respecto al material procesado.

A pesar de que la calidad del polímero disminuye después de ser sometido al proceso de reciclado, es posible utilizarlo con buenos resultados en transformaciones, tal vez de tipo diferente al que fue sometido originalmente. Por ejemplo: un índice de fluencia bajo indica viscosidad elevada, ideal para la extrusión, en cambio un índice de fluencia alto es adecuado para la inyección. Esta propiedad es muy importante a la hora de elegir el proceso de transformación.

Las propiedades estudiadas influyen en otras propiedades importantes del material según se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Influencia de la densidad y el índice de fluencia en otras propiedades de los plásticos reciclados

PROPIEDAD	DISMINUCION DE LA DENSIDAD	AUMENTO DEL MFI
Elongación a la rotura	Disminuye mucho	Disminuye
Modulo E	Disminuye mucho	Disminuye
Dureza	Disminuye	Disminuye poco
Temperatura de fusión	Disminuye	Casi no cambia
Temperatura máxima de uso	Disminuye	Disminuye poco
Temperatura de fragilización	Aumenta	Aumenta
Resistencia al impacto	Disminuye	Disminuye mucho
Hinchamiento	Aumenta mucho	Aumenta poco
Permeabilidad	Aumenta	Aumenta
Tensofisuración	Disminuye	Aumenta
Transparencia	Aumenta	No cambia
Fluidez	Aumenta poco	Aumenta mucho

Los usos posteriores para los materiales reciclados se deben basar en las nuevas propiedades que adquiere el polímero una vez transformado.

Otra alternativa, que ya se aplica en la industria para el uso de estos materiales, es combinarlos con los materiales vírgenes, para aumentar la compatibilidad o compensar otras deficiencias.

2.8 REALIDAD DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN EL PERÚ

En el Perú, esta actividad se realiza hace muchos años con productos recuperados de los rellenos sanitarios y botaderos clandestinos. La ciudad de Lima es el lugar donde se ha concentrado esta actividad.

2.8.1 Mercado

Durante un estudio de la ONG IPES realizado en abril del 2002 en las ciudades de Lima y Callao, se identificaron 52 empresas dedicadas a la comercialización de residuos plásticos ^[20].

Por otro lado, de las empresas de reciclaje, alrededor de 500 (75%) son pequeñas empresas informales dedicadas al molido de plástico, y sólo el 25% de estas empresas se dedica a elaborar productos finales ^[21]. Existen también ocho medianas empresas que procesan las botellas de aceite tipo PVC.

En el Perú predominan los siguientes tipos de empresas de reciclaje de plásticos:

- ✧ Empresas de molienda.
- ✧ Empresas de aglomerado.
- ✧ Empresas de peletizado.
- ✧ Empresas de moldeo por inyección, soplado y extrusión.

Los tipos de plásticos que se comercializan son:

- Polietileno tereftalato (PET): principalmente envases de bebidas gaseosas.
- Polietileno de alta densidad (HDPE) y de baja densidad (LDPE): bidones, bateas, contenedores industriales, bolsas industriales y de supermercado, etc.
- Policloruro de vinilo (PVC): muebles de jardín, tubos de caños, zapatillas, etc.
- Polipropileno (PP): envases de yogurt y alimentos.
- Poliestireno (PS): envases descartables y otros.

Actualmente los residuos plásticos con mayor demanda en el mercado limeño son los plásticos PET transparente (el color verde no tiene mucha demanda porque su volumen de comercialización es mínimo), los mixtos (PEBD, PEAD y PP), y el PVC.

2.8.2 Importación de residuos plásticos

La tabla 2.8 muestra las importaciones de residuos plásticos en el periodo 2000- 2003. En el año 2002 se importaron 526 129.41 kg de residuos plásticos de los cuales el principal fue el polietileno seguido de los desechos, recortes y desperdicios de PVC.

Durante el año 2003 se importaron 250 838.54 kg de desechos plásticos destacando los desechos de polietileno con 166 589.01 kg.

Los residuos plásticos son importados principalmente de Estados Unidos.

Los aranceles que pagan los residuos plásticos para el ingreso al país son iguales que los que pagan las resinas vírgenes; en la tabla 2.6 se muestran los gravámenes vigentes.

Tabla 2.6 Gravámenes vigentes para el ingreso de residuos plásticos al Perú ^[34]

Gravámenes Vigentes	Valor
Ad Valorem	12.00%
Impuesto General a las ventas (IGV)	17.00%
Impuesto de Promoción Municipal	2.00%
Seguro	1.25%
Total	32.25%

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria
www.aduanet.gob.pe

La tabla 2.7 muestra las partidas arancelarias de los residuos plásticos que se importan al Perú.

Tabla 2.7 Partidas Arancelarias de los residuos plásticos

Partida Arancelaria	Descripción
3915100000	Desechos, recortes y desperdicios de los polímeros de etileno.
3915200000	Desechos, recortes y desperdicios de los polímeros de estireno.
3915300000	Desechos, recortes y desperdicios de los polímeros de cloruro de vinilo.
3915900000	Desechos, recortes y desperdicios de los demás plásticos (incluye el polipropileno).

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria
www.aduanet.gob.pe

La tabla 2.8 también se muestran los costos unitarios FOB y CIF de cada uno de los residuos importados. En el año 2003 se registró un aumento promedio de 11% en el precio de los residuos importados respecto del año 2002.

Con respecto a la importación de las resinas vírgenes, la importación de desechos representa el 0.12% en peso, es decir una cantidad insignificante. En cuanto a los precios promedio FOB y CIF en el año 2003, los precios de los desechos plásticos representan menos del 50% de los precios FOB y CIF de las resinas vírgenes (37.5% y 47% respectivamente).

Tabla 2.8 Importación de residuos plásticos año 2000 – 2003

AÑO	DESCRIPCION	VALOR FOB US\$	VALOR CIF US\$	PESO NETO (kg)	PRECIO POR kg	
					FOB	CIF
2000	PVC	82 644.11	143 675.15	457 629.40	0.18	0.31
	PS	44.00	51.82	113.39	0.39	0.46
	PP	5 294.13	6 431.08	13 230.00	0.40	0.49
	DEMÁS PLASTICOS	13 516.76	22 420.78	53 515.27	0.25	0.42
TOTAL		101 499.00	172 578.83	524 488.06	0.19	0.33
2001	PVC	35 179.72	65 949.87	234 010.00	0.15	0.28
	DEMÁS PLASTICOS	20 996.91	25 179.94	32 157.64	0.65	0.78
TOTAL		56 176.63	91 129.81	266 167.64	0.21	0.34
2002	PVC	54 781.12	84 889.56	318 700.64	0.17	0.27
	PE	85 770.39	103 452.81	207 415.67	0.41	0.50
	DEMÁS PLASTICOS	76.56	80.99	13.10	5.84	6.18
TOTAL		140 628.07	188 423.36	526 129.41	0.27	0.36
2003	PVC	11 177.94	21 509.36	79 139.28	0.14	0.27
	PE	50 060.52	64 225.15	166 589.01	0.30	0.39
	DEMÁS PLASTICOS	12 969.46	14 995.96	5 110.25	2.54	2.93
TOTAL		74 207.92	101 730.47	250 838.54	0.30	0.40

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria www.aduanet.gob.pe

2.8.3 Exportación de residuos plásticos

Según la tabla 2.9 durante el año 2003 se han exportado 814 699.7 kg de residuos plásticos principalmente residuos de PVC y PET. El precio FOB unitario promedio es de 0.59 dólares/kg, siendo el precio más alto el del PVC y el PET.

Las exportaciones de residuos plásticos se han incrementado en 473% respecto al año 2002. Mientras que en el año 2002 se exportaron 142 210 kg de residuos plásticos; en el año 2003 se han exportado 814 699.70 kg de estos residuos.

Los desechos plásticos son exportados molidos (scraps) y limpios de allí su mayor precio. Con respecto al mercado interno donde en promedio se paga 1.35 nuevos soles/kg (0.39 dólares/kg), en el mercado exterior se paga en promedio 2.06 nuevos soles/kg (0.59 dólares/kg).

En algunos casos se trata de cartuchos vacíos de impresora.

Por conversaciones vía electrónica con un importador de plásticos argentino se tiene conocimiento de precios promedio del *scrap* plástico. El scrap de PET cristalino se paga a 400 dólares por tonelada mientras que el HDPE a 390 dólares por tonelada y el PP color blanco a 400 dólares por tonelada. Los *scraps* provenientes de las botellas de PET, HDPE y PP son los de mayor demanda a nivel internacional.

Los países a los que se exporta los residuos son principalmente los países asiáticos (China, Hong Kong), seguidos por Panamá, Costa Rica, Colombia y Ecuador.

Tabla 2.9 Exportación de residuos plásticos Año 2000 - 2003

AÑO	DESCRIPCION	VALOR FOB US\$	PESO NETO (kg)	PRECIO POR kg
				FOB
2000	PET	13 721.20	52 610.00	0.26
	PVC	5 473.71	6 215.00	0.88
	PC	117 940.00	235 420.00	0.50
	DEMÁS PLÁSTICOS	3 732.75	4 977.00	0.75
TOTAL		140 867.66	299 222.00	0.47
2001	PET	28 672.11	68 000.00	0.42
	PE	49 737.27	94 476.70	0.53
	PC	47 476.00	79 220.00	0.60
	DEMÁS PLÁSTICOS	16 252.40	240.00	67.72
TOTAL*		142 137.78	241 936.70	0.52
2002	PET	20 420.17	88 170.00	0.23
	PC	20 721.40	54 040.00	0.38
TOTAL		41 141.57	142 210.00	0.29
2003	PET	122 797.71	356 966.20	0.34
	PE	2 724.43	4 953.50	0.55
	PVC	255 187.89	222 466.00	1.15
	DEMÁS PLÁSTICOS	100 098.23	230 314.00	0.43
TOTAL		480 808.26	814 699.70	0.59

Elaboración propia

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria www.aduanet.gob.pe

2.8.4 Volúmenes de comercialización

Los volúmenes mensuales aproximados de residuos plásticos que se comercializan en Lima y Callao se muestran en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Volúmenes de comercialización de residuos plásticos ^[20]

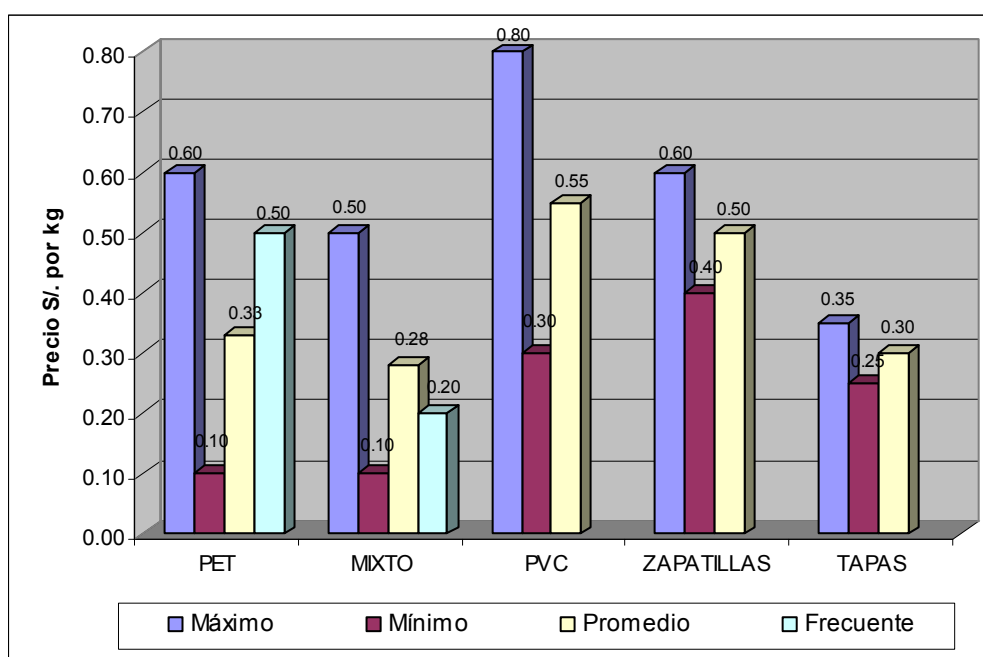
TIPO DE COMERCIALIZADOR	VOLUMEN (t/mes)	
	Mínimo	Máximo
Grande	20	50
Mediano	5	20
Pequeño	0	5
Total	25	75

Mensualmente se comercializan en Lima y Callao 1 000 t de plástico (50 recicladores, cada uno comercializa en promedio 20 t de plástico al mes).

2.8.5 Precios de residuos plásticos

En la fig. 2.10 se muestra la canasta de precios de compra de los diferentes residuos de plástico que se comercializan en Lima y Callao, por parte de los comercializadores.

Fig 2.10 Precios de residuos plásticos en Lima y Callao



Fuente: Mecanismos para el funcionamiento de bolsas de residuos como un aporte a la gestión ambiental. Programa APGEP-SENREM. Convenio USAID-CONAM. Lima, agosto del 2002.

El precio del residuo de plástico PET varía entre S/. 0.10 y 0.60 por kg, con un precio promedio de S/. 0.33 por kg. El precio más frecuente es S/. 0.50 por kg. En el caso del residuo de plástico mixto, éste varía entre S/. 0.10 y 0.50 por kg, siendo el precio de compra promedio de S/. 0.28 por kilogramo.

El PVC y las zapatillas (PVC) tienen un precio de compra promedio de S/. 0.55 y 0.50 por kg respectivamente. Mientras que las tapas de envases (PP) tienen un precio de compra promedio de S/. 0.30 por kg.

2.8.6 Grado de procesamiento del plástico reciclado

Los tipos de plástico reciclado según el grado de procesamiento que se comercializan son:

1. *Scrap*. Ver fig. 2.11.
2. *Pellet* (negro, color, cristalino). Ver fig. 2.12



Fig. 2.11 Scraps de PET

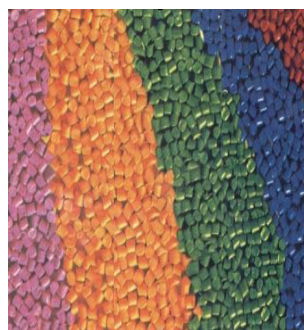


Fig. 2.12 Pellets de plástico

2.8.7 Precios de plástico reciclado

La tabla 2.11 muestra los precios de compra de plástico reciclado industrial ofertados por las empresas en Lima.

Tabla 2.11 Canasta de precios de residuos del plástico reciclado industrial (S/. por kg) ^[20]

Grado de procesamiento	Precio		
	Mínimo	Máximo	Promedio
<i>Scraps</i>	0.90	1.50	1.20
<i>Pellets</i> negro	1.10	1.30	1.20
<i>Pellets</i> color	1.40	1.60	1.50
<i>Pellets</i> cristalino	1.60	1.80	1.70

Los precios varían según el tipo de plástico siendo el de mayor precio el *pellet* cristalino que se obtiene de los residuos plásticos de PET, además es el que tiene más demanda en la industria de plástico porque pueden darle el color que ellos requieran durante su proceso industrial; en cambio el *pellet* de color negro o de color tienen menor precio y se obtienen de los otros tipos de plásticos reciclados (HDPE, LDPE, PP, PVC y otros)

El precio del molido de plástico (*scraps*) varía entre S/. 0.90 y 1.50 por kg; y en el caso de los *pellet* está entre S/. 1.10 y 1.80 por kg.

